VEAMOS COMO SE OPERAN LAS CALDERAS A LEÑA

PUESTA EN MARCHA DE CALDERAS A LEÑA

La leña es **un excelente combustible**, cuyo contenido de carbono e hidrógeno, le dan un poder calorífico de buen nivel, aunque tiene bastante oxígeno ya integrado, el cual suponemos que ya está unido al hidrógeno (por ello la combustión a leña se parece en las medidas de sus gases a la combustión del carbón, dando un alto contenido de CO2 en base seca, casi más del 20%). Los elementos más indeseables en la leña, es el agua o humedad, pero el contenido de azufre es prácticamente cero.

Debemos de aclarar que la leña que normalmente utilizamos en calderas, es la **leña de eucaliptos** (y **no la leña de monte**, que si bien es un **patrimonio nacional que no debe ser consumida, no solamente por esta razón, sino porque en su combustión produce una ceniza que se funde como vidrio, la cual tapa las grillas o parrillas, afectando la marcha de la caldera**, esto con el eucaliptos no ocurre normalmente, pero puede ocurrir).

Si bien la leña produce un alto contenido de CO2 en sus humos, tiene la ventaja que es un CO2 que el propio árbol consume en su crecimiento o formación de la madera, es decir que se produce un equilibrio entre el CO2 producido y el CO2 consumido, lo cual hace que no se acumule en la atmósfera, como ocurre con los combustibles fósiles (carbón, F. Oíl y otros líquidos y gases naturales y extraídos del petróleo).

Debemos de dividir en dos casos: calderas de **quema directa** y **quema a gasógeno**.

Quema leña directa:

Cuando ponemos en marcha una caldera, lo primero es revisar todos aquellos elementos que intervienen en su funcionamiento:

1-Verificar que se encuentre **llena con agua adecuada** (ablandada, tratada químicamente, etc.) hasta casi el nivel normal (1/4 del nivel visual o el corte del automático de la bomba, ya que el nivel aumentará al aumentar la temperatura del agua). Para llenar la caldera cerrar todas las purgas y abrir el grifo atmosférico (purga de aire). Se supone que la válvula principal de vapor (válvula de cuello) se encuentra cerrada.

Si la **caldera estuviera en "conserva"** por algún método seco, primero se debe **extraer los productos "secantes"** de su interior (cal viva,"silicagel", etc.), poner tapas de visita y hacer una prueba de estanqueidad (hidráulica). Si estuviera **inundada con agua** tratada para un método de conservación húmeda, es suficiente generalmente **bajar el nivel** del agua con las purgas, abriendo el grifo atmosférico para "romper" el vacío (para que entre el aire).

2-**Verificar los controles de nivel** (abrir sus purgas y verificar que accione la bomba de alimentación, previo a abrir sus válvulas de succión y descarga, oir y ver señales de bajo nivel).En algunos casos es necesario efectuar una prueba hidráulica de "estanqueidad" (probar que no haya pérdidas de agua o vapor). Para ello se puede levantar presión de "trabajo" con la misma bomba de alimentación (en forma lenta), sacando el aire por el grifo atmosférico (el grifo atmosférico sirve tanto para sacar el aire y gases, como para evitar que se produzca "vacío" en el interior de la caldera al enfriar o vaciar la misma). Con 10 minutos de presión (todas las válvulas cerradas), observando exterior e interior de la caldera (hogar y cajas de humo) por pérdidas de agua, y que la presión en el manómetro no baje más que muy lentamente (alguna pérdida en empaquetaduras). Luego hacer bajar la presión lentamente (purga) y regular el nivel (purga y grifo atmosférico)., debemos proceder a su puesta en funcionamiento.

Recordemos que la **combustión** será **manejada con el aire que entra en el hogar**, debajo de la "parrilla" (primario) y sobre la "parrilla" (secundario) y que dependerán de la apertura de los registros y de la depresión del hogar ("vacío" provocado por el tiro natural de la chimenea o por un ventilador de tiro inducido).

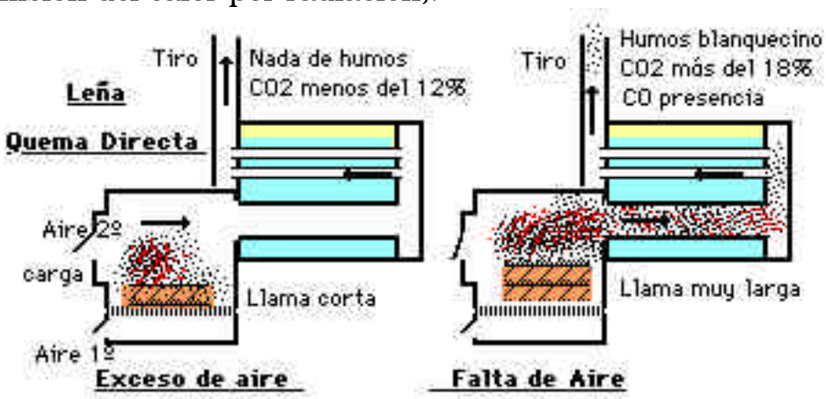
Como la carga de leña es normalmente estable (una determinada altura sobre la "parrilla": grillas), para **aumentar la combustión** debemos **aumentar el aire debajo de la leña**, de manera que se produzca una combustión cuyo calor **volatilice a su vez parte de la leña**. Este "gas de leña" **entra en combustión** con el "**aire sobrante**" que entró **debajo de la "parrilla"** (estableciéndose una llama luminosa y de alta temperatura. Lo que permite una combustión rápida del gas es el **aire ya calentado** en la zona de combustión primaria) y con el **aire** que entra por encima de la "parrilla" (**secundario**).

Muchas de estas calderas **precalientan el aire que entra debajo de la "parrilla"** aprovechando el calor de los gases de chimenea (bajando su temperatura a menos de 160ºC), de manera de **aumentar la Eficiencia de la caldera** (aprovechando mejor el calor) y

mejorando las condiciones de **combustión** (a mayor temperatura, la combustión es "más rápida" y se puede quemar la leña de un alto tenor de humedad, más del 40% de humedad). Este **precalentamiento** se puede hacer debido a que las "**parrillas**" **son** "**refrigeradas**" (las grillas que forman la parrilla son de hierro fundido de aleación especial) que al montarse sobre tubos en que circula el agua de la caldera, permite la "refrigeración" del metal de la grilla (no dejando que su temperatura sea demasiado alta), pero a su vez permite el precalentamiento del aire y de las grillas (cuya temperatura estará por lo menos cercana a la temperatura del agua de la caldera). El aire se puede entonces "precalentar" sin correr el riesgo de "quemar" las "parrillas" (grillas) a temperaturas de más de 150ºC. (aumenta la velocidad de reacción de la combustión, lográndose que esta se produzca antes de abandonar la cámara de combustión).

El hecho de que el aire primario sea precalentado (con o sin precalentador de aire), hace que este aire juegue un papel fundamental en la combustión completa o total, siendo el aire secundario utilizado solamente el los régimenes altos de vaporización.

La combustión del carbono y el hidrógeno, se cumple en diferentes etapas. Inclusive la humedad de la leña (siendo poca) es favorable a esta combustión, ya que la misma interacciona con el carbono a altas temperaturas y provoca una gasificación en el lecho de combustión, que favorece la formación de la llama (la llama luminosa es muy favorable para la transmisión del calor por radiación).

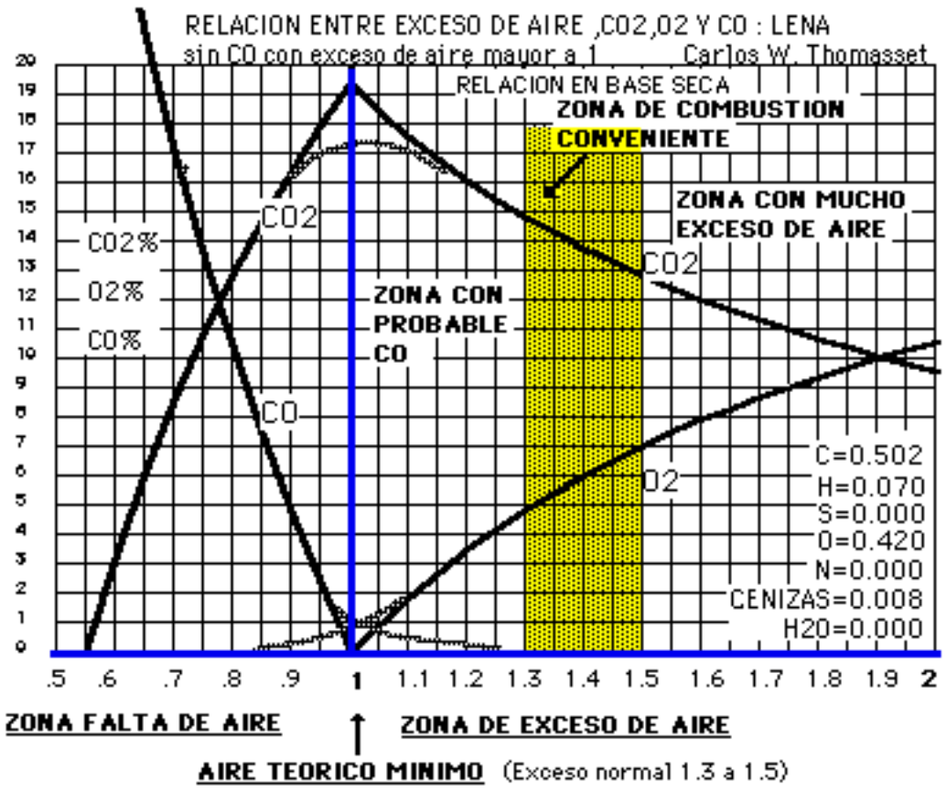


Puesta en marcha:

Es importante proceder a un correcto "barrido" del hogar con aire (abriendo el tiro inducido y los registros 1º y 2º) y **no utilizar bajo ningún concepto combustibles líquidos que puedan gasificar** (cuidado que si la parrilla esta caliente: el Gas Oíl, Aceites o aún el F.Oíl podrán gasificar), **Mantener siempre una depresión en el hogar** y un pequeño "barrido" **(siempre que trabajemos con apertura del hogar debemos de mantener una depresión: nunca abrir el hogar con el tiro cerrado y/o el tiro inducido apagado.** Puede que con el aire que entra por la boca de carga provocar una ignición de los gases en el interior del hogar al no haber barrido de gases), mientras ponemos elementos **combustibles secos o humedecidos con combustibles pesados si no hay temperatura** (cartones, estopas, cáscaras, papeles, leña astilladas, etc.). Con un hisopo prender la base de estos elementos e ir agregando leñas (rolos finos, costaneras, etc.) hasta poder agregar rolos de suficiente tamaño. No hacer un fuego "grande" con la caldera fría, calentar suavemente de manera uniforme toda la caldera. Al principio trabajar el fuego con "exceso de aire " (manteniendo el tiro abierto y dando aire con los registros 1º y 2º, debido a que el hogar esta frío la combustión no será buena). **Una caldera fría debe ser calentada en varias horas** (2 a 8 horas, dependiendo de la caldera) y si la caldera estuviera parada del día anterior será suficiente un par de horas (1 a 2 horas , dependiendo del tipo de caldera).

Reitero, no introducir combustibles líquidos "tirándolos" por la boca de carga, ya que se puede provocar una explosión de hogar (al gasificar y mezclarse con el aire en el interior del hogar forma una mezcla explosiva) **ni abrir la boca de carga con el tiro cerrado** (natural o inducido) **o el ventilador del tiro inducido apagado** (no existiendo suficiente tiro natural).

COMBUSTION DE LA LENA : MEDIDAS DE GASES DE CHIMENEA



**En la "quema directa" cuando el exceso de aire es adecuado, la llama penetra el tubo del hogar hasta casi el 50% del largo del mismo.
Si el tubo se vé si llama hay exceso de aire.
Si el tubo no se vé tapado totalmente por la llama, ha falta de aire.
Exceso normal de aire es del 30% al 50% con leña con 25% a 35% H.b.h.**

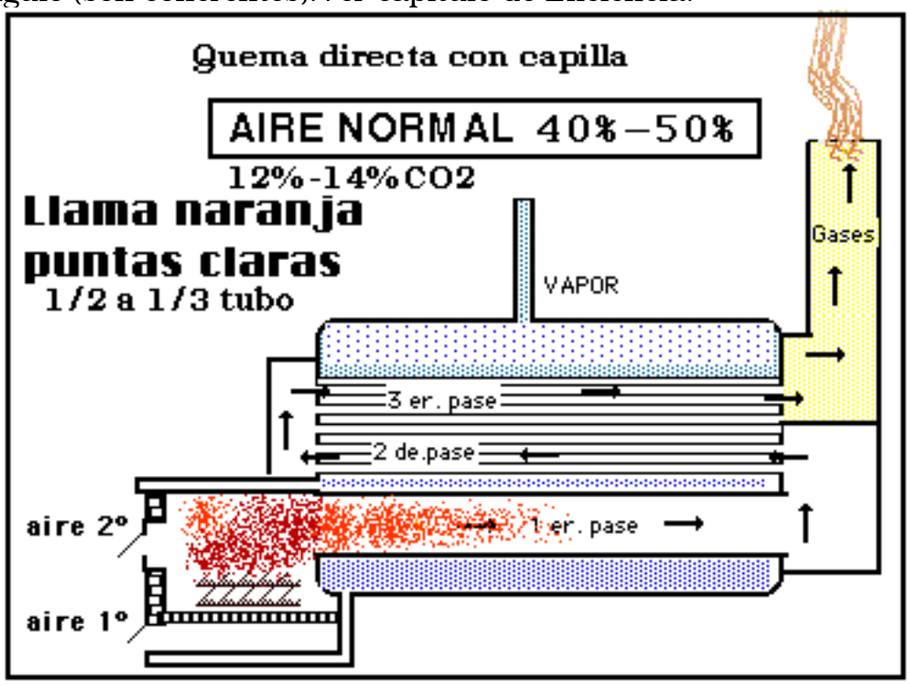
Regulación de la combustión en la quema directa :

1- Falta de aire:

como no se presentan **humos** negros (generalmente **apenas blanquecinos, como "vapores"**, o si la falta de aire es muy notoria puede hacer humos algo negruzcos) la **medición de los gases** juega un papel **importante,** ya que no habiendo humos puede haber un CO2 del 16% a 18% con presencia de CO en forma importante (por cada 1% de CO la pérdida por gases sin quemar en chimenea puede ser de más del 5%). A veces es preferible mantener el CO2 entre 14% y 16% para evitar la posibilidad de formación de CO (ya que además de la pérdida de energía, junto con el monóxido de carbono van alquitranes que tienden a ensuciar las superficies de intercambio). Puede haber una falta real o aparente del aire. Ambas son provocadas por la utilización de leña con **mucha humedad** (más del 35% de humedad), hogar con **carga de leña en exceso** (no permite la entrada de aire bajo la parrilla en forma pareja y se produce "destilación"), **exigir demasiado** la capacidad de la caldera, **aires mal** regulados, "**parrillas**" **tapadas** de cenizas (por falta de limpieza), falta de **remoción o atizado de la leña** sobre la "parrilla", **caldera sucia** con pasajes de aire restringidos: tubos tapados, sucios de cenizas , etc..

La **cantidad de combustión se regula** con la **cantidad de aire que forzamos** (o succionamos con el tiro) **debajo de las grillas** ("parrilla"), para una altura dada de leña. Con el **aire secundario regulamos el largo de la llama** (completamos la combustión en regímenes altos) y con **el tiro inducido** (o natural) **mantenemos una depresión en el hogar** (- 3 a - 5 mm.c.a. : milímetros de columna de agua) de manera de manejar el volumen resultante de los gases de combustión (y la succión del aire primario y secundario si no hay forzadores).

Para mantener una **idea práctica de la combustión**, debemos **observar el fuego** en el tubo central del hogar o sobre el banco convectivo (caldera acuo-tubulares). La combustión **no debe llegar al fondo del hogar** o al banco convectivo, **debe terminar antes de que la llama se enfrie**. Al medir los gases de chimenea, es conveniente disponer un **triángulo de OSTWALD** para leña y así poder comprobar que las 3 lecturas cierran en un punto del triángulo (son coherentes).Ver capítulo de Eficiencia.



2- Buena combustión :

En este caso no se ve prácticamente **nada en la chimenea** (un leve velo vaporoso o nada), el CO2 estará entre 14% y 16% , el O2 3,5% a 6%, el CO será 0%.

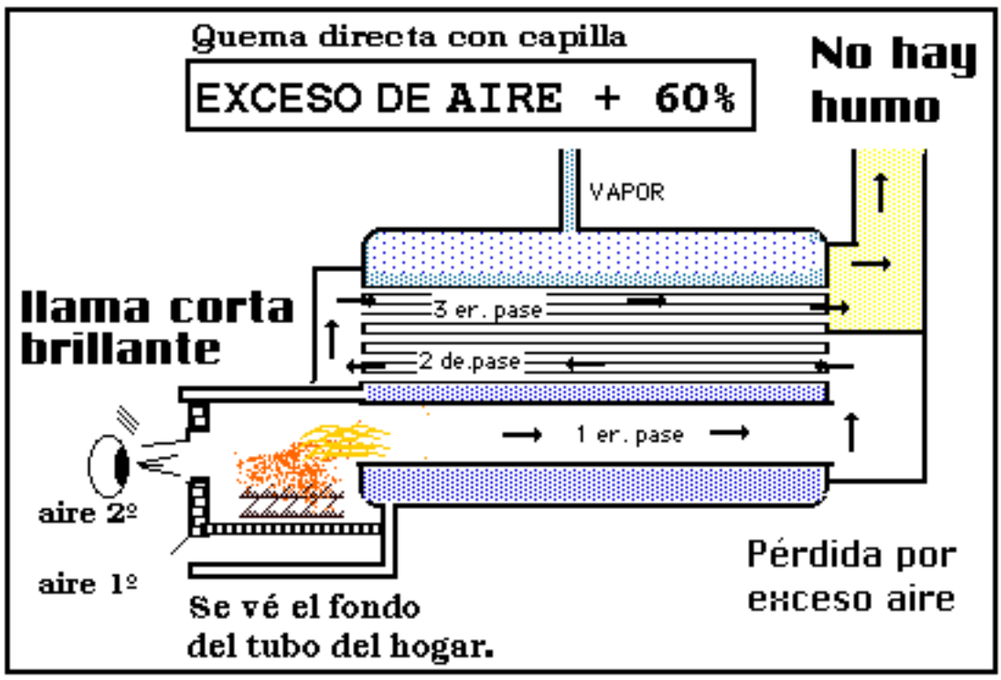
Observando la llama como guía, esta **debe entrar en el tubo central** del hogar **hasta la mitad** del mismo (en el banco convectivo de las acuotubulares, **debe de "lamer" los tubos**).

Regule con el aire secundario y/o la carga de leña para acortar o alargar la llama. Para **mantener estos valores** es aconsejable **cargar en períodos cortos**, **remover la leña** entre períodos, usar **leña relativamente seca** (25% a 30% de humedad), **no sobrecargar** el hogar con leña, mantener la "**parrilla**" **(grillas) limpias**, siendo muy conveniente que la **depresión** del hogar (tiro inducido) y el **aire primario** (forzador bajo grilla) **sean automáticos** (la depresión del hogar entre -3 a -5 mm.c.a, con sensor de depresión comandando el tiro, modulando una válvula de gases de mariposa o persiana, etc., y la alimentación forzada bajo grilla comandada en forma modulante con la presión del vapor : al bajar la presión aumenta el aire y viceversa). La automatización permite un marcha muy regulada, quedando sólo el manejo de la leña y del aire secundario (que también se puede automatizar).

De todas maneras si la presión llega a un máximo, cerrando los aires y gases, un presóstato apagará el tiro inducido y el forzador bajo grilla.

Recuerde: no abra la puerta de carga ni las tapas de observación estando los tiros apagados.

En caso de que la presión debido a una inercia térmica subiera por encima de la presión de trabajo, saltaría la primer válvula de seguridad o válvula de servicio de línea. Como la quema directa tiene una gran vaporización en la cámara de combustión (la "capilla" se encuentra expuesta al calor radiante y vaporiza desde un 40% a un 60%), la caldera **tiene una gran respuesta** a los cambios exigidos de vaporización .



3- **Exceso de Aire:**

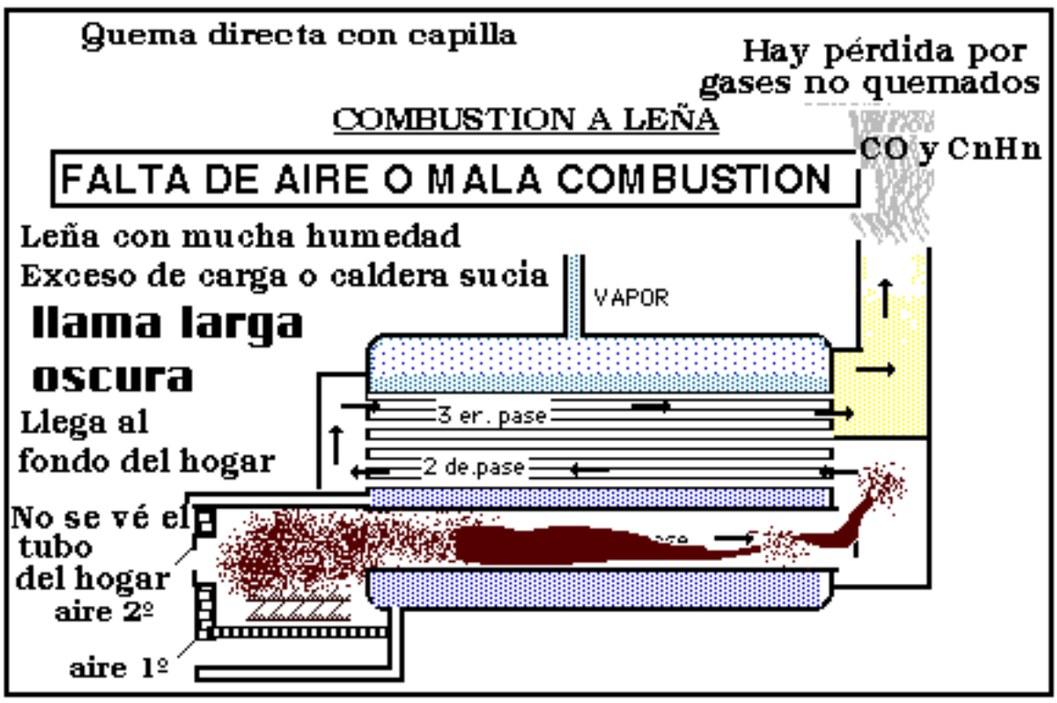
En este caso, en la **chimenea** no se observa **nada** (solo gas caliente). El CO2 estará por debajo del 12%, el O2 por encima del 8% y nada de CO (podrá haber algo de CO en algunos casos: llama fría). La observación de la **llama: se ve muy corta**, el **tubo central del hogar vacío** de llama. La **causa** de ésto se debe a: **carga** de leña muy **baja**, "**parrilla**" **mal tapada** de leña, **entrada de aire** exagerada por encima de la "parrilla", **depresión** del hogar **muy alta** (más de 5 mm.c.a.), **no** "**atizado**" de los fuegos, **mala regulación** de los automáticos de los aires, entradas de aires indebidas, etc..

EXCESO DE AIRE EN LA QUEMA DIRECTA

Cuando hay "exceso de aire" en una caldera de "quema directa", se vé el hogar cilíndrico de la caldera libre de entrada de llamas lo que significa que hay un exceso de aire.
Si la llama penetra hasta el 50% del hogar el % de exceso de aire es el adecuado
Si la llama oscurece la entrada al hogar y la llama llega casi al fondo es porque falta exceso de aire.

4- **Mala combustión:**

La mala combustión **puede existir** a pesar de que la **cantidad** de **aire** y de **leña sea la correcta**. La llama podrá ser larga en determinados momentos y corta en otros y generalmente se puede deber a **leña excesivamente húmeda** (más del 40% de humedad, es necesario más exceso de aire a medida que aumenta la humedad), **cargas demasiadas espaciadas** (esto obliga a sobrecargar la parrilla produciendo en los primeros momentos falta de aire y al final exceso de aire), leña **no** "**removida o atizada** ", **aires mal regulados o oscilantes**, **caldera sucia**, etc



Para parar una caldera de combustión directa, es suficiente: **cerrar** bien todos los **aires** (especialmente las entradas al hogar y el tiro: al no haber oxígeno no habrá combustión). A veces es conveniente dejar una pequeña depresión natural en el hogar para evitar la pérdida de gases a la sala de caldera. Si la caldera se para definitivamente o hasta el día siguiente: se debe **disminuir la carga de leña** unas **horas antes** de manera que terminada la jornada no quede casi leña en el hogar, dejando consumir suavemente lo que quede (no debiendo inquietar si es necesario dejar un escape de vapor para limitar la presión. Generalmente no es necesario, ya que si la presión sube por encima de la de trabajo, las válvulas de seguridad o la de alivio de línea se encargarán de bajarla). Lo que **no** se debe hacer es **cortar la alimentación de agua** bajo ningún concepto y **no** tratar de **despresurizar la caldera** tirando vapor a la atmósfera en forma indiscriminada.

En las **calderas** a combustibles **celulósicos** (leñas, cáscaras, etc.) **es importante disponer un sistema de alimentación de agua auxiliar** (que no dependa de la energía eléctrica, como puede ser, un inyector a vapor o un "burrito": bomba alternativa a vapor). Este sistema auxiliar debe ser usado cuando hay cortes de energía eléctrica (o en fallas de la alimentación normal), pero, la válvula principal de vapor debe ser cerrada (si faltase alimentación con más razón) y los aires cerrados para mantener la producción de vapor a cero (no olvidar que la planta no funcionará normalmente al no haber energía eléctrica, a pesar que si se quiere se puede seguir vaporizando con el tiro natural y esta alimentación auxiliar).

Los **inyectores de vapor deben ser alimentado**s con **agua fría** y preferiblemente **ablandada** (ya que la utilización con agua caliente del mismo tanque de alimentación puede no dejar funcionar el inyector debido a que su funcionamiento se debe a la condensación del vapor: transformación de la energía térmica en energía dinámica, y que el uso de aguas duras pueden provocar incrustaciones que bloqueen los pequeños orificios y conductos que los componen). Las bombas alternativas de vapor ("burritos"), tienden a "endurecerse" ("engriparse") por estar parados en la mayor parte de su tiempo y deben ser puestos a prueba en forma seguida (diaria o semanal) y utilizar los lubricantes adecuados (ya que el contacto con el agua y el vapor tienden a afectar a los lubricantes no "especiales" a esta función).

Las **calderas** que tengan **calentadores de aire**, se verán muy **beneficiadas en la combustión** y en la **recuperación de calor** (Eficiencia). Pero estos calentadores recuperadores deben de ser **limpiados en forma periódica** (una vez o más por mes) del **lado de gases** (es muy beneficioso la utilización de **agua caliente para la limpieza de ceniza depositada)**, pudiendo en algunos casos instalarse un **sistema de lavado con agua caliente con la caldera en funcionamiento**, evitando así parar la caldera. (La misma agua de alimentación puede ser usada).

Quema de leña por gasógeno :

El gasógeno debe ser prendido con mayor cuidado que la quema directa. Se deben tener todas las precauciones anotadas anteriormente, a las que hay que sumar el hecho de que tenemos una **combustión primaria** y luego el **gas producido se debe quemar** en una **combustión secundaria separada de la primera** en el hogar de la caldera. **Primero se prende el gasógeno**, haciendo funcionar el tiro. En el primer momento la combustión en el interior del gasógeno será total con muy poca formación de gases (hay un exceso de aire en el interior del gasógeno debido a la relativa combustión de comienzo). Luego se verá que **la temperatura de los gases de entrada a la cámara** de combustión de la caldera empieza a **subir** (indicando que el volumen de gasificación empieza a ser importante), aumentando posteriormente el aire primario (y la carga de leña) la **riqueza de los gases** (CO y otros) **aumenta.** En este momento se debe tener una **llama piloto en la cámara de combustión de la caldera** (generalmente a gas de garrafa o quemador auxiliar a gas-oil) que **se mantendrá prendido**. Dando **lentamente aire secundario** se logra que entre la producción de **gas del gasógeno** y el **aire secundario** que se hace llegar (generalmente algo calentado si la caldera esta caliente o frío si la caldera esta fría) **se establezca una llama secundaria estable** (al principio se producirá una llama muy **poco estable**: pocos gases y aire frío, con tendencia a producir "pulsaciones").

En algunos gasógenos, si bien hay combustión secundaría, por ser la unión entre la caldera y el gasógeno de gran sección y corto pasaje, la combustión secundaria es en realidad una "prolongación" de la combustión primaria, no necesitándose en estos casos la presencia de llamas pilotos.

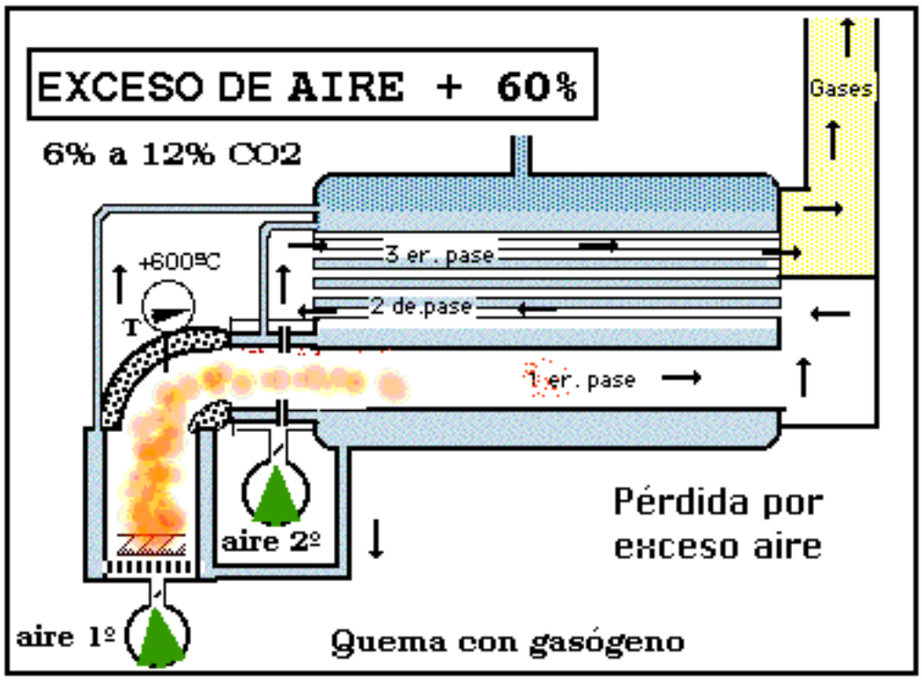
En la quema por gasógeno, se debe observar la llama en la cámara torsional.
Cuando la llama está casi "invisible", de color algo azulado, el exceso de aire es bueno.
Si la llama casi no se vé es probable que haya exceso de aire.
Si la llama es larga y muy visible, hay falta de aire secundario.
Exceso de normal de aire es del 30% al 50% con 25%H.b.h.

La **llama secundaria** se podrá chequear por las mirillas. En la chimenea al principio se notan muchos gases "sucios" que luego desaparecerán (a medida que la temperatura de los gases que entran en la cámara de combustión secundaria aumenta, la llama se estabiliza). La **regulación** del **aire secundario** se debe hacer por **instrumentos** o mirando una "**llama " poco visible** (de color pálido azulado), tratando que la misma se ejecute sin llegar al "fondo" del hogar (ya que al entrar a los tubos de humo se apaga, ensuciando los mismos muy rápidamente, subiendo la temperatura de chimenea y restringiendo el pasaje de gases a los pocos días) y la **cantidad de aire secundario** estará en **relación** a la cantidad de **aire primario** (de acuerdo a la necesidad de vaporización de la caldera). La **carga de leña** se **regula** por la **altura** de la misma y por la **temperatura de los gases a su salida** en el gasógeno (ya que la misma refleja la altura del "lecho" de astillas o rolos cortos sobre la "parrilla", bajando con una sobrecarga -gas muy rico- o subiendo momentáneamente al bajar el "lecho" hasta cierto valor y luego bajando por falta de combustible para gasificar: recordar que la gasificación perfecta produciría 1/3 aprox. del calor disponible en el interior del gasógeno).

Se debe tratar de **no dejar bajar el "lecho"**, ya que se producen **altas temperaturas** (por la alta velocidad del aire localmente) y no se deben extraer las cenizas totalmente, ya que se pueden **"quemar" las "grillas"** (soporte normalmente giratorio). La **llama secundaria** debe ser **"monitoreada" permanentemente** y en el caso que deba apagarse, el **reencendido debe ser piloteado**_ (restableciendo el aire secundario lentamente) o de lo contrario se producirán **explosiones o llama inestable** en el hogar. En algunos casos no se necesita llama piloto (reencendido directo desde el gasógeno).

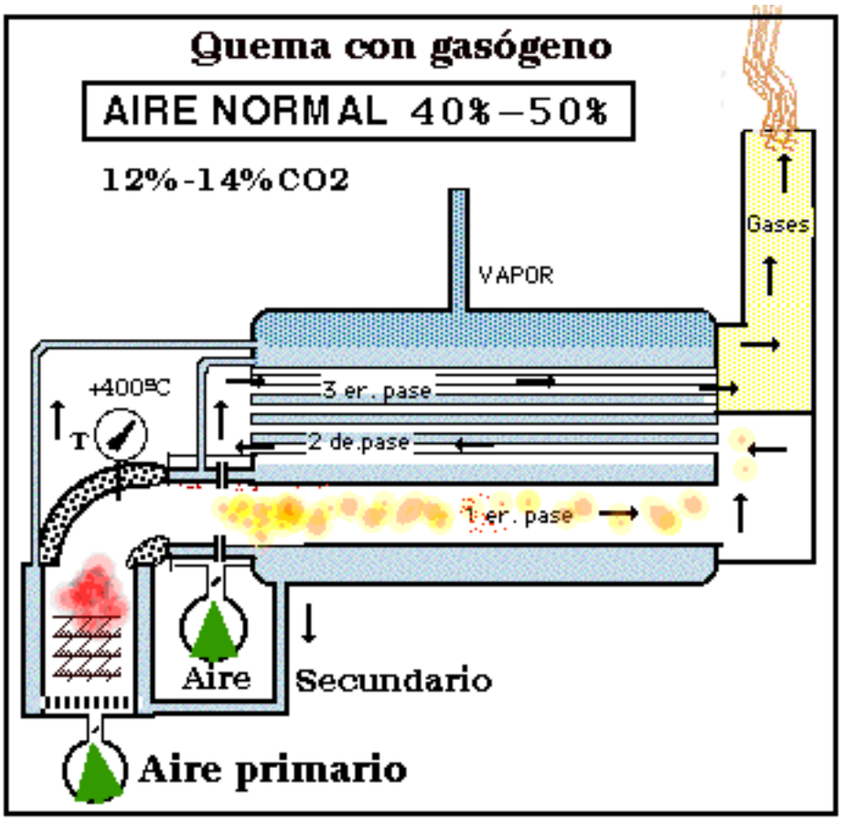
La combustión se regula con el aire primario y el aire secundario a la vez, debiéndose tener en cuenta la carga de leña , ya que cualquiera de los 3 elementos puede afectar la condición de un buen rendimiento (a más necesidad de combustión, se necesitan más gases -aumentando el aire primario -para quemar en el hogar con más aire secundario).

Regulación de la combustión por gasógeno a leña:



1-Exceso de aire :

La **llama secundaria** muy corta , **hay fuego** (llama luminosa) en el interior del **gasógeno** , el CO2 es menos del 12% , el O2 más del 8%. No hay humos en chimenea y la temperatura de los gases combustibles es alta (si hay suficiente leña en el gasógeno). Al usar instrumentos para medir los gases de chimenea es conveniente utilizar un **triángulo de OSTWALD** para leña, para verificar que las lecturas cierren en un "punto": así se puede establecer que es correcta la medición.

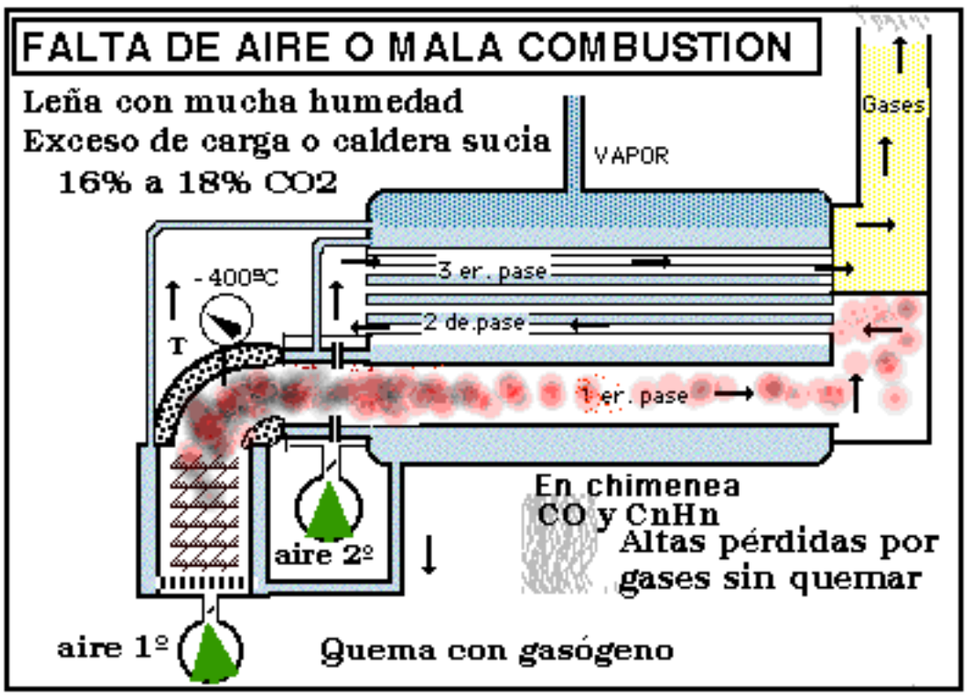


2-Buena combustión:

En este caso, **no hay humos**, la **llama secundaria** llega hasta **casi el final del hogar** de la caldera (aunque el final de la llama es casi imposible observar), la **carga** del gasógeno es **correcta** (altura), la temperatura de los gases es de un valor intermedio , el CO2 es más del 14% , el O2 es menos del 6% y **no debe haber presencia de gases no quemados** (CO% igual a cero). El monitoreo de la llama en forma práctica se hace difícil debido a la falta de luminosidad en la combustión secundaria, por lo que se debe tener mucha experiencia para lograr estos valores. La afectan las condiciones que hemos dado en general para la leña, pero la humedad de la leña es menos tolerable (aconsejándose no trabajar con leña con más del 30% de humedad, leña limpia de eucaliptos , preferiblemente sin cáscara).

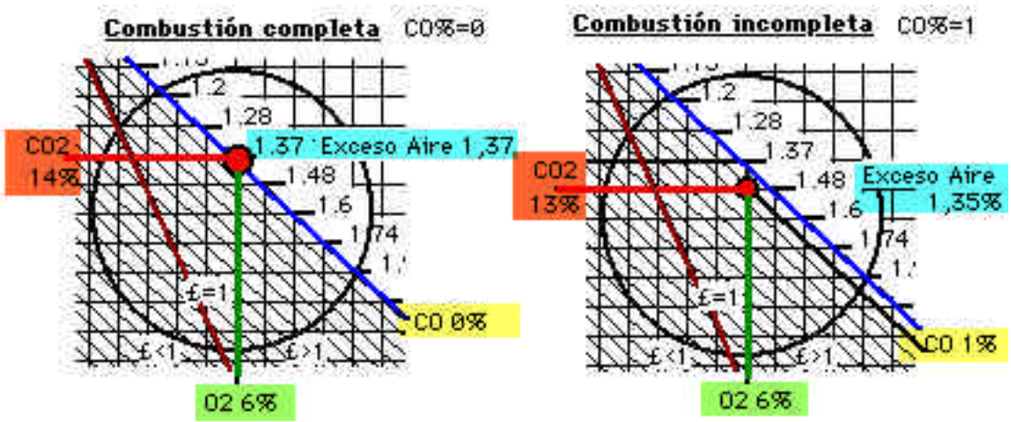
3-Falta de aire :

En este caso, se notan **algunos humos blanquecinos** (a veces negruzcos si la falta de aire es muy grande), el CO2 en más del 16% , el O2 es menos del 3,5% y **hay presencia de gases no quemados** (**CO, acompañado por volátiles y alquitranes que tienden a ensuciar la caldera y a "corroer" la chimenea metálica: zonas frías**). La **llama secundaria** se ve "**sucia**", **muy larga** (toca la mirilla posterior). La **causa más común** de esta situación es la **falta de regulación** de los aires y la carga de leña: **sobrecarga**, **humedad de la leña**, **calidad de la leña** (leña sucia, mucha cáscara, etc.), **caldera sucia**. Esta situación hace que en pocos días la caldera se ensucie y pierda capacidad de vaporización y combustión (por falta de transferencia y pasaje de gases, esto se nota al subir muy pronunciadamente la temperatura de chimenea, que hace bajar la Eficiencia de la caldera).



4-Mala combustión:

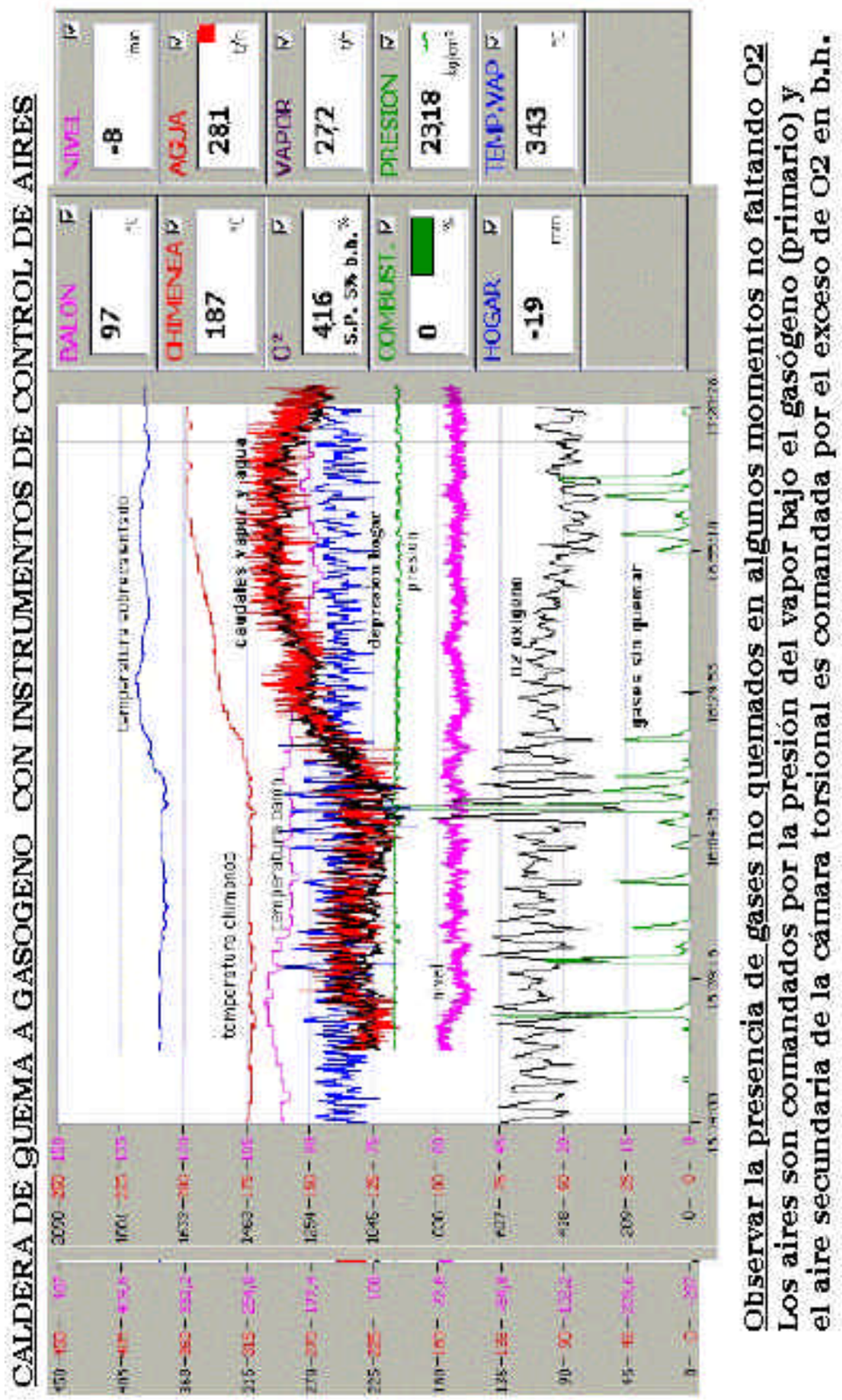
En este caso, a pesar de ser **la cantidad total de aire la necesaria**, por razones de ajustes, **no se logra la combustión total**, quedando **gases sin quemar** que son detectados en la chimenea (CO) y se **produce el ensuciamiento rápido** de la caldera (con elevación de la temperatura de los gases de salida y bajando la capacidad de vaporización de la caldera). Una de las **causas** que más afecta esta condición, es la **humedad de la leña** (más del 30%) que provoca que la **combustión** secundaria sea **muy fría** y necesite **mayor tiempo** en el hogar (llegando al final del hogar sin terminar su combustión). **Otra causa es la sobrecarga** de la capacidad de la caldera y como **la vaporización depende fundamentalmente de la llama secundaria**, ya que en el **gasógeno la transferencia es mínima**. Al verse disminuida la respuesta por esta razón, la caldera tiende hacer sobrecargada de combustión para lograr recuperar la presión, no siendo en estas condiciones la cámara de combustión secundaria lo suficientemente grande como para "dar" el tiempo necesario para finalizar su combustión, sobrando oxígeno y gases sin quemar. Esta característica obliga al encargado de la caldera a permanecer atento a las necesidades del consumo de vapor, siendo necesario que prevenga estas situaciones con antelación.



El las gráficas anteriores (partes de un triángulo de OSTWALD de leña) , se indica la condición de combustión completa (CO=0%) y la condición en que la combustión no es completa (CO%=1) aunque sobre el O2 (oxígeno), esto en las calderas a leña y de gases (como el gas natural), **hace que se produzcan pérdidas muy importantes por gases sin quemar (que por cada 1% de estos gases que se midan en chimenea se puede estar perdiendo más de 4% del combustible por la chimenea.**

Para **parar la caldera** se sigue los comentarios anteriores en la quema directa, cuidando que bajo ninguna circunstancia quede leña sin quemar sin ser atendida la alimentación de agua de la caldera, si es necesario volver a prender, tener la precaución de "barrer" los gases y formar gases nuevos antes de prender la llama piloto y dar aire secundario. (Seguir las instrucciones del fabricante).

Al **parar** es conveniente dejar "asentar" unos minutos los barros (la válvula de vapor estará cerrada) y **purgar de fondo** (especialmente el gasógeno que tiende a juntar barros debido a que su circulación no se establece en fase líquida: tipo sifón) y los controles de nivel (como todas las calderas)."



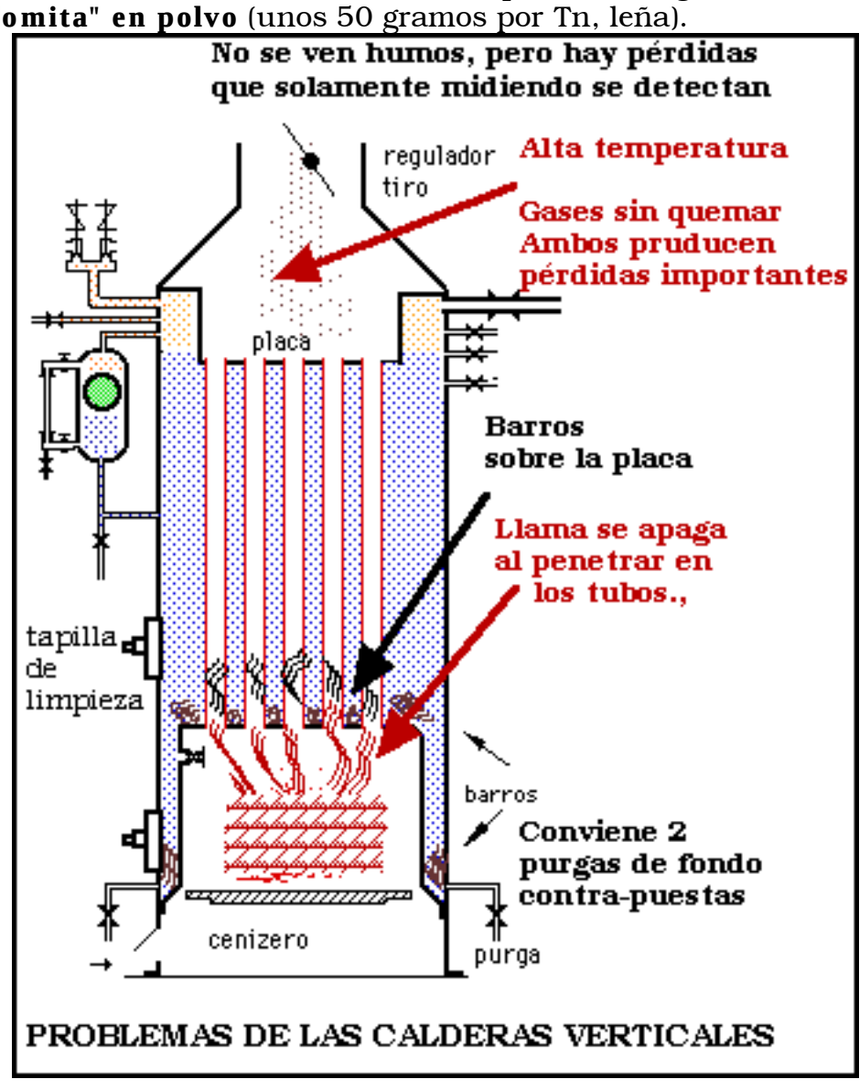
CONTROL DE COMBUSTIÓN EN CALDERAS SIN HOGAR CILÍNDRICO

En las calderas de "quema directa" sin hogar cilíndrico (humo-tubulares, horizontales o verticales, en los gasógenos es casi impensable una caldera sin hogar cilíndrico dado la necesidad ineludible de la cámara torsional para la combustión secundaria), **el control visual de la combustión es relativamente posible, podemos decir:**

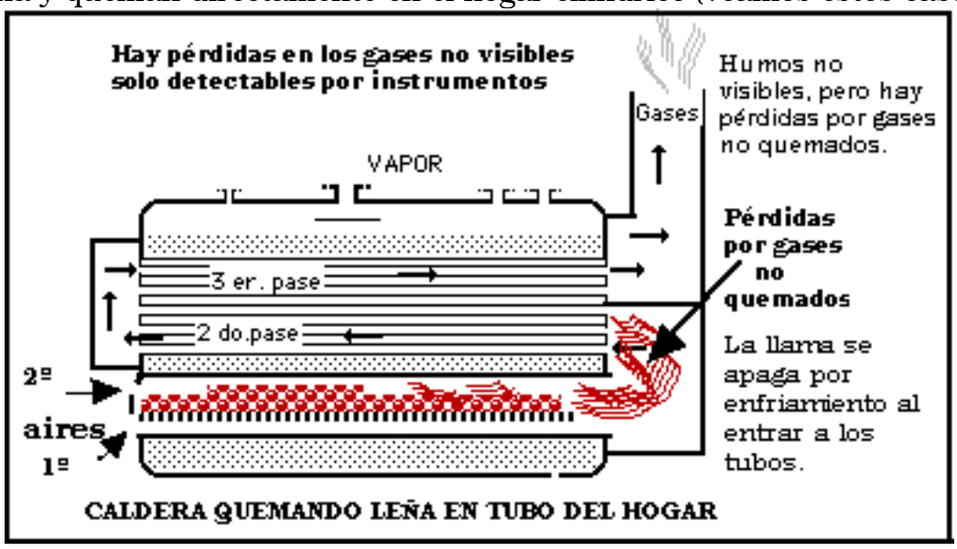
1-Si la llama penetra los tubos humo-tubulares, la combustión no es completa, puede ser por falta de exceso de aire o mala combustión (por lo general es muy difícil lograr que el aire se mezcle adecuadamente en todo el lecho de leña, habrá zonas de exceso de aire y otras con falta de aire, que una vez que penetran los gases en los tubos, tanto el exceso de aire o los gases sin quemar, quedarán inalterados, dando en una medición en chimenea **un exceso de aire con gases sin quemar**). **Una de las causas más agravantes de esta situación es la quema de leña con elevada humedad, estas calderas son muy sensibles a la humedad de la leña.**

2-Si hay un exceso de aire la llama se verá muy corta y no penetrará los tubos (es decir, que la combustión se completa en la cámara de combustión y la medida en chimenea deberá dar con exceso de aire sin "gases sin quemar" (o CO).

3-La falta de aire dará una llama larga, que penetra en todo el banco de tubos del primer pase de tubos (la medida en chimenea dará falta de aire y "gases sin quemar"). **Esta situación muy antieconómica** (por la pérdida de leña destilada) **y muy contaminante** (los gases de leña a medio quemar son muy contaminantes), **ensuciarán los tubos de la caldera rápidamente, siendo la entrada de los tubos la zona más expuesta al depósito de ceniza con aglomerantes de la misma y también el calentador de aire** (con los gases de chimenea).**Esta situación de ensuciamiento se puede "alargar" en el tiempo de limpieza utilizando "dolomita" en polvo** (unos 50 gramos por Tn, leña).



En la quema de leña, las calderas verticales son todo un problema, ya que su diseño las hace proclives a que tengan pérdidas por gases "no quemados", ya que la llama tiende a "subir" y se introduce en los tubos, se enfría y se apaga. Por eso el manejo de las calderas verticales, debe hacer cuidadosamente de no subir la altura de combustión de la leña y facilitar este efecto "enfriamiento" de la llama. **Este mismo fenómeno es lo que ocurre en las calderas de quema directa sin hogar** (una vez que la llama penetra los tubos, se apaga y con ello aparece un pérdida muy importante en los gases de chimenea por gases "no quemados" y aún con excesos de aire, si este no es bien distribuido en las grillas que soportan el lecho de combustión). Podemos también ver esta pérdida en aquellas calderas que se han adaptado a leña y queman directamente en el hogar cilíndrico (veamos estos casos).


Hay pérdidas en los gases no visibles
solo detectables por instrumentos
Humos no visibles, pero hay pérdidas por gases no quemados.
Gases
VAPOR
Pérdidas por gases no quemados
3 er. pase
2 do.pase
2º aires
1º
La llama se apaga por enfriamiento al entrar a los tubos.
CALDERA QUEMANDO LEÑA EN TUBO DEL HOGAR

En la quema de leña (rolos de eucaliptos, astillas o astillones)**, las calderas humo-tubulares horizontales, adaptadas con una parrilla "seca" o "refrigerada" con agua del tanque de alimentación, en el tubo del hogar, tienen el problema que la combustión tiene poco "volumen"** (tiempo de combustión antes de llegar a los tubos de la placa trasera, en donde la llama si penetra en un tubo de la parte humo-tubular se "apaga", quedando combustible "sin quemar"), **lo que la combustión no se desarrolla en la cantidad necesaria para mantener la capacidad de generación de vapor original de la caldera** (por ejemplo: una caldera de unos 4.000 Kg/h de vapor, con un hogar cilíndrico de buen diámetro, baja la producción de vapor al quemar leña a casi la mitad).

Esto lleva a que la caldera en combustiones de baja capacidad, el rendimiento es relativamente bueno (puede que sea de unos 4 Kg. vapor por Kg. de leña con 25%H.b.h.), **pero al aumentar la combustión al máximo posible, el rendimiento baja a valores realmente importantes** (puede que llegue a generar menos de 3 Kg. de vapor por cada Kg. de leña con 25% H.b.h.). Estas calderas no solo son de bajo rendimiento, además de bajar su capacidad de generación, sino que cuando alcanzan su máximo de producción, lo gases de chimenea están cargados de "gases sin quemar", que son muy contaminantes).

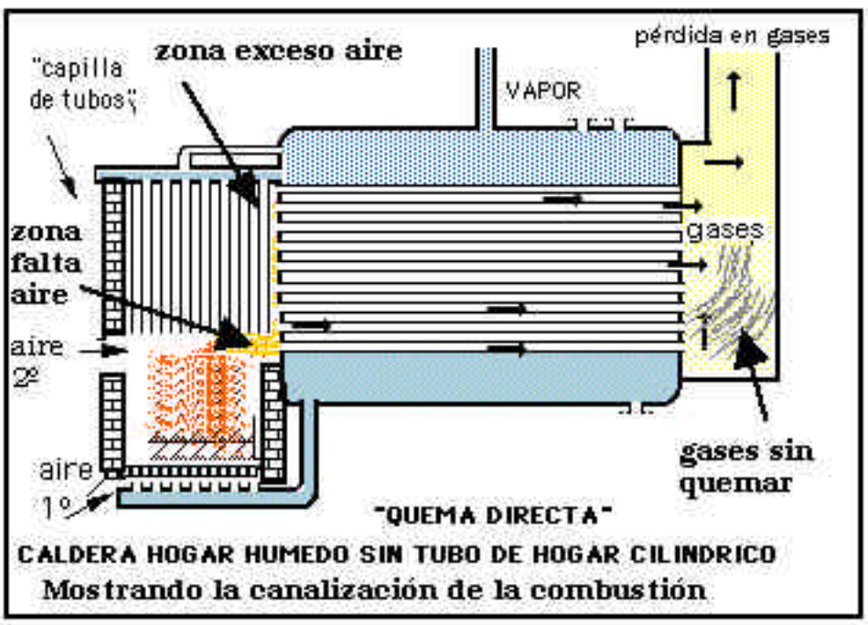
Hay que aceptar, que cuando se llega a un 70% de la producción máxima posible de vapor (un 50% de la producción original)**, no intentar "forzar" su producción, ya que su rendimiento es muy bajo y produce contaminación. Se parecen en su comportamiento a las calderas verticales y a las calderas humo-tubulares sin tubo de hogar** (en donde se termina la combustión de los gase "ricos" y "pobres").

CALDERAS HUMO-TUBULARES ADAPTADAS QUEMANDO EN EL HOGAR

La combustión en baja tiene buen comportamiento, en alta se produce una mala combustión, ya que la llama "penetra" los tubos y se apaga.

Pueden ser grillas "refrigeradas' con circulación externa a baja presión (con agua blanda).

CALDERA QUEMA DIRECA SIN HOGAR CILINDRICO



La presencia de calderas de quema directa sin "tubo de hogar" aparecen para bajar el costo de construcción de estas caldera. Pero quienes trabajamos en la práctica operando calderas (operando y evaluando su comportamiento con instrumentos), **nos queda claro que tienen limitaciones en el comportamiento de la combustión.**

Queda claro, como dijimos, que la combutión debe terminar antes de introducirse a los tubos humo-tubulares (de lo contrario la llama se apaga, se pierdo por gases "no quemados"), **pero como la llama tiene zonas más ricas de combustibles gaseosos y otras con excesos de aire, si ambas no se encuentran en una cámara de combustión, se mezclen a una temperatura superior a 600°C, tendremos que habrá tubos que entra llama y se apaga y tendremos tubos que entran excesos de aire extraordinarios.**

Para disminuir estos efectos (partiendo de que ya tenemos la caldera), **lo más importante es tener una "grilla" de fundición adecuadamente diseñada e instalada, de manera de hacer que haya una muy buena distribución del aire entre la leña en combustión** (hay que cuidar expresamente que no entren aires por los costados de las grillas contra la paredes tubulares o de refractarios). **Además es necesario la presencia grillas "móviles" para mover la "brazas" y cenizas, que se acumulan sobre las grillas** (pretender quemar sin grillas de fundición, directamente sobre una parrilla de tubos de agua de la propia caldera o fuera de ésta, no solo no se logra una buena distribución del aire, sino que la parrilla se tapa con "brazas" y cenizas, habiendo solos zonas en que este lecho se perfora, produciendo un efecto "fragua", o sea una altísima temperatura local, un gran exceso de aire que provoca grandes pérdidas para mantener la combustión, excesos de hasta más del 300%. Pero además se debe considerar el riesgo de quemar sobre un tubo y el efecto "fragua", que puede llevar al tubo a "explotar", quemando al operador.

CALDERA SIN TUBO DE HOGAR
ZONA EXCESO AIRE
ZONA FALTA AIRE
Se puede observar la llama introducirse en los tubos en donde se enfria y se apaga.

La combustión sin tubo de hogar, fuera de los problemas comentados, al no lograr una combustión completa, especialmente cuando la "carga" de combustión aumenta por encima del 70%, la llama al entrar a los tubos humo-tubulares, no solo se apaga, sino que forma con la ceniza un anillo de obstrucción, que obliga a frecuentes paradas de la caldera para limpiezas de tubos (ya que la pérdida de carga en los gases obliga a limpiar, debido a que el tiro "inducido" pierde capacidad).

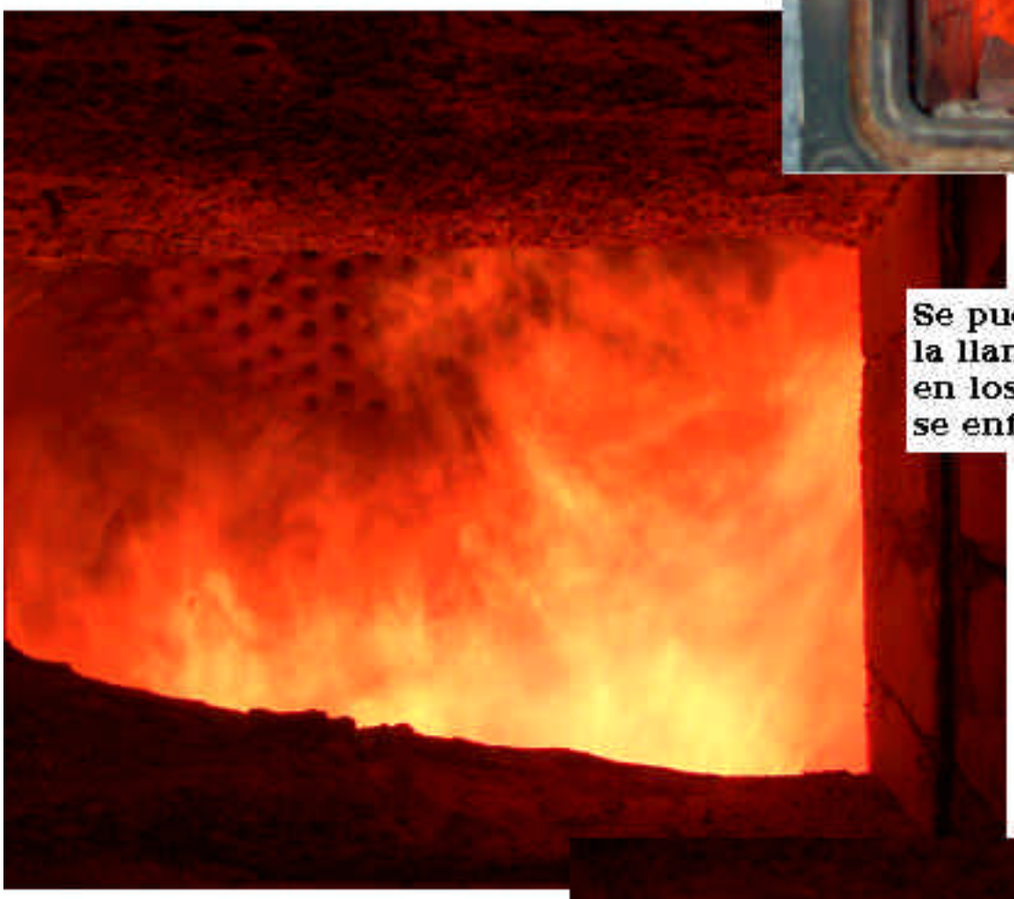
Dijimos que esto se puede mejorar con el agregado de unos gramos de "dolomita" por tonelada de leña (unos 50 gramos/tn). También es conveniente que la leña esté lo más seca posible, ya que la leña con una humedad por encima del 30% H.b.h. tiende agravar este problema.

Todos estos problemas de combustión deben ser resueltos, si queremos ahorrar combustible (leña) **y bajar el tenor de contaminación en los gases** (CO y otros).

CALDERA A LEÑA SIN HOGAR CILINDRICO (50% CAPACIDAD DE MARCHA)

Se observa la combustión desde la mirilla de observación desde el frente de la capilla.

La caldera tiene una marcha del 50%, hace un mes que no se cepillan los tubos.



Se puede observar la llama introducirse en los tubos en donde se enfría y se apaga.

Hay zonas en que la llama se apaga al entrar a los tubos y hay zonas que probablemente haya exceso de aire.

La caldera es de 4.000 Kg/h, funciona en forma permanente por debajo del 50%, con picos de un 60% a 70% máximo.

QUEMA DE LA CASCARA DE ARROZ

La cascara de arroz, sin otros usos prácticos de valor (en este país) es un combustible con un poder calorífico bastante bueno (**con 10% humedad b.h. el P.C.S. 3.100 Kcal/Kg y P.C.I. 2.800 Kcal/Kg**). El problema mayor es que en su constitución, al quemar, tiene una gran cantidad de cenizas (**principalmente sílice, más del 20%**). La sílice más común que vemos a diario es la arena. Esta sílice, al quemar a las altas temperaturas en la que se quema la cáscara, forma pequeñas cascarillas semi-fundidas, de aspectos blanquecina vidrioso, muy volátil y **abrasivo**. Esta sílice es especialmente abrasiva con la corriente de gases en el interior de la caldera, provocando **corrosión por erosión**, en las zonas de cambio de frente, ayudada cuando las condiciones químicas de la combustión no son adecuadas y además con la presencia de un pequeña cantidad de **azufre en la cáscara que provoca una corrosión del tipo ácida-abrasiva.**

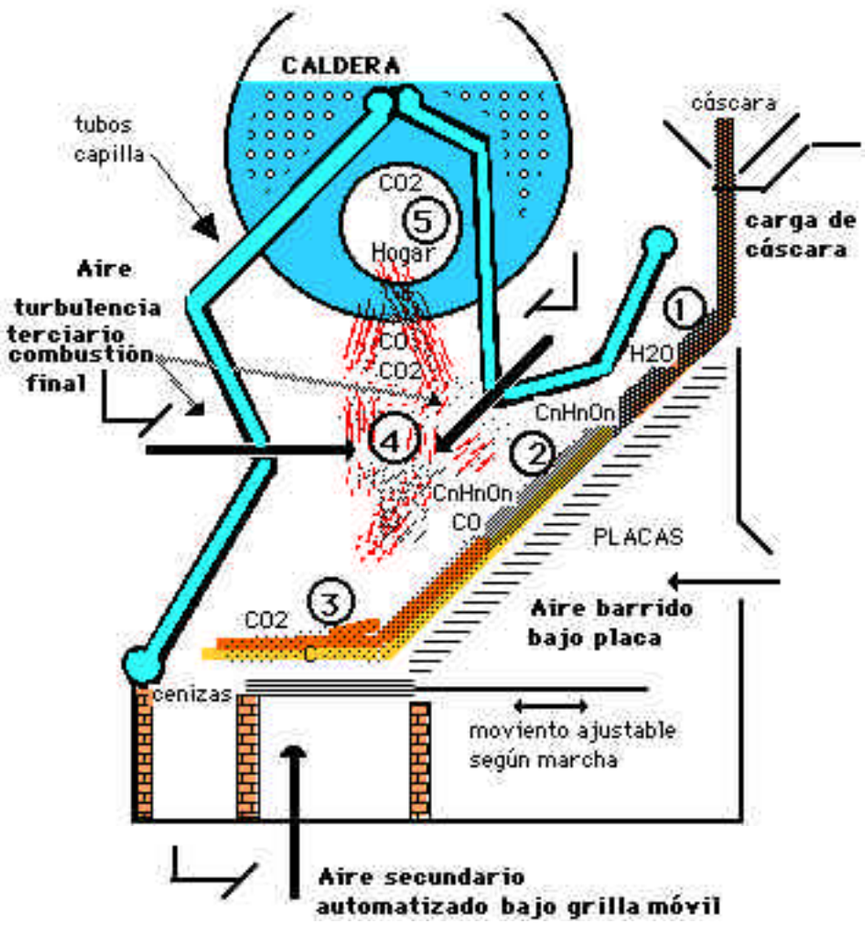
La **humedad** con que se maneja la cáscara de arroz para quemar es baja, aproximadamente **en el entorno del 10%**, esta baja humedad es la que hace que su poder calorífico sea casi igual a la leña con un 25% H.b.h. (cuyo contenido de humedad es difícil que baje del 20% H.b.h.).

El **contenido de carbono** está en el entorno del **40%** , su contenido de **hidrógeno** es bajo, **menos del 5%** .

Como hemos visto, con su poder calorífico, compite perfectamente con la leña, pero su problema es la combustión: gran cantidad cenizas, es volátil la cáscara y la ceniza (un problema de abrasión y contaminación atmosférica), pero **además se debe lograr la combustión completa, tanto que por lo gases de chimenea no vaya gases sin quemar, ni quede en la ceniza una cantidad de carbono calcinado** (una ceniza de aspecto negro, en vez de una ceniza blanquecina).

Su combustión se ha encarado de varias formas : en lechos (caso Uruguay) **, en cámaras de alta temperatura** (tipo ciclones o cámaras torsionales, U.S.A., Brasil, etc.). En Uruguay , la firma TURBOFLOW URUGUAY S.A., a construido calderas del tipo de lechos de combustión desde hace más de 20 años.

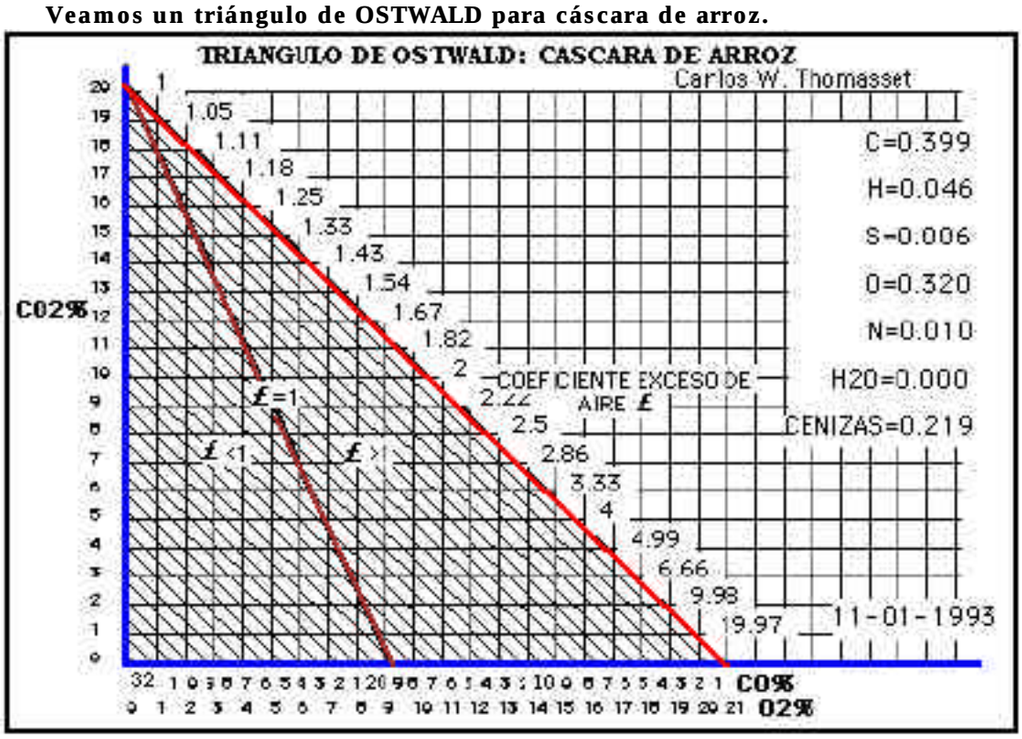
Veamos en forma esquemática un lecho:



Este hogar para quemar cáscara de arroz, está formado por una cámara de combustión con la parte superior y parte de los costados con tubos con aletas (soldadas a los tubos) y estas entre sí, sellando mecánicamente el escape de gases o entrada de aire. Estos tubos son alimentados en su parte inferior con el agua de caldera por medio de colectores, teniendo en la parte superior, un colector (o dos) para la salida del agua que circula y el vapor que se pueda formar (teniendo este colector a su vez tubos hervidores o de desahogo de vapor en la parte superior). En la parte superior, se comunica con el tubo del hogar (corrugado), en donde se termina la combustión en el interior de la caldera humo-tubular. La pared frontal y parte de la pared posterior de su estructura interna en material refractario (ladrillo). En parte de un costado se encuentra la entrada de carga de la cáscara (un cargador rotativo o de empuje variable), a una parrilla inclinada formada por "placas" de fundición, y en la parte inferior la parrilla está formada por piezas móviles de fundición (que hacen avanzar el lecho de cáscara, en forma de movimientos regulados, en esa parte casi cenizas). Al final de la parrilla, hay una "canaleta" en donde la ceniza irá cayendo al avanzar el lecho. Veamos como funciona.

La cáscara es alimentada en forma continua (**Nº1,** de acuerdo a necesidad de mantener un "manto"), hay una primera etapa de secado de la humedad de la cáscara con el calor del hogar y luego, más sobre el hogar (**Nº2**) y forzado por una corriente de aire que empuja el calor sobre el lecho, esto produce el desprendimiento de gases orgánicos de la descomposición por el calor (la alta temperatura del hogar y una corriente de aire de baja velocidad, que entra por debajo del lecho, ya que el hogar está en depresión, hace el barrido, empujan estos gases), estos gases entran en combustión (**Nº4**) con los aires sobrantes y el terciario. El "manto" baja, en la medida que la combustión del "manto" casi destilado continua (hay una zona final en que queda solo carbono y la ceniza **Nº3**), y luego de la combustión del carbono (provocada por el aire secundario) quedarán solamente las cenizas, siendo esta parte baja del lecho la que está sometida a un movimiento mecánico que hace avanzar el lecho, volcando las cenizas a un canal de extracción.

Veamos un triángulo de OSTWALD para cáscara de arroz.



En este triángulo de OSTWALD de CASCARA DE ARROZ, vemos que el máximo **CO % es de 32% , cuando en los combustibles líquidos y gas natural es menor**, esto se debe la presencia del oxígeno en el propio combustible, la cáscara de arroz, que **se da como que ya ha reaccionado con el hidrógeno**, por lo que queda de combustible, es prácticamente carbono (**C**), que si trazáramos su triángulo de OSTWALD, daría un poco más del **34% como CO%** (monóxido de carbono con carbono puro).

El **control de combustión, se debe hacer con instrumentos** (midiendo el CO2% u O2% y el CO%, que este último debe ser prácticamente 0%, aunque es difícil de obtener este valor si se pretende trabajar con un exceso de aire bajo, siendo normal este exceso de aire entre el 35% y el 50%, de lo contrario aparecen gases sin quemar, cuyo efecto es muy corrosivo, especialmente por la combinación de la abrasión de la ceniza y el azufre de por sí corrosivo, con otros gases sin quemar del tipo ácido (piroleñosos). Como un control práctico, se debe de tratar que la llama visible no pase del tercio del hogar, de manera de asegurarnos la combustión total.

Los gases de chimenea deben ser sometidos a un tratamiento de eliminación de las cenizas arrastradas (de lo contrario se contamina la zona con una sílice volátil).

Un problema considerable, es la eliminación de la ceniza (casi en un 90% sílice), se utiliza en algunos hornos de fundición, quedando otros usos todavía no aplicables en Uruguay.

La cáscara de arroz es un combustible que no debería ser desperdiciado, pero, lamentablemente se quema a "cielo abierto" y no se aprovecha su valor energético, solamente un par de plantas de **arroz parboiled** lo usan. Algunos hornos de Portland las utilizaron, agregando con ello un calor adicional (y la ceniza que hasta cierto límite puede utilizarse integrado al Portland).